慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	革新的製品の需給曲線推定および供給契約支援システムに関する研究
Sub Title	A research on demand forecasting and supply contract support system development for innovative product
Author	松川, 弘明(Matsukawa, Hiroaki) 金沢, 孝(Kanazawa, Takashi) 稲田, 周平(Inada, Shuhei)
Publisher	
Publication year	2012
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2011.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究は革新的製品を対象に需要予測およびその予測値を用いた最適発注方式に関する研究を行ったものである. まず, 需要予測においては, 製品のスペックとそれに対する市場専門家の評価, 価格変動情報, および類似商品の過去の販売データを入力とし, 市場における顧客を2群6つのタイプに分けて中間層とした, 3階層ダイナミックでキュービックなニューラルネットワークを構築した. また, フィードバックを用いた時系列モデルを組み込み, 需要予測の精度を高めることにした. 需要予測の目的はサプライチェーンにおける最適意思決定であり, 特に革新的製品においては一発勝負が多いことを考え, 1回目の予測に基づいて生産計画を立て, 2回目の予測に基づいて販売計画を立てることで販社と製造の協調を実現し, さらに販社利益最大化, 製造利益最大化, およびチェーン全体利益最大化の3ケースについて最適なオプション量を決定するモデルを構築し, オプションモデルが有効な価格帯が存在することを明らかにした.
Notes	研究種目：基盤研究(B) 研究期間：2009～2011 課題番号：21310095 研究分野：複合新領域 科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_21310095seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式Ｃ－１９

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成２４年３月３１日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究（Ｂ）
研究期間：2009～2011
課題番号：２１３１００９５

研究課題名（和文）　革新的製品の需給曲線推定および供給契約支援システムに関する研究

研究課題名（英文）　A Research on Demand Forecasting and Supply Contract Support System Development for Innovative Product

研究代表者
松川　弘明（曹　徳弼）（MATSUKAWA　HIROAKI）（SOU　TOKUHITSU）
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：30242275

研究成果の概要（和文）：本研究は革新的製品を対象に需要予測およびその予測値を用いた最適発注方式に関する研究を行ったものである．まず，需要予測においては，製品のスペックとそれに対する市場専門家の評価，価格変動情報，および類似商品の過去の販売データを入力とし，市場における顧客を 2 群 6 つのタイプに分けて中間層とした，3 階層ダイナミックでキュービックなニューラルネットワークを構築した．また，フィードバックを用いた時系列モデルを組み込み，需要予測の精度を高めることにした．需要予測の目的はサプライチェーンにおける最適意思決定であり，特に革新的製品においては一発勝負が多いことを考え，1 回目の予測に基づいて生産計画を立て，2 回目の予測に基づいて販売計画を立てることで販社と製造の協調を実現し，さらに販社利益最大化，製造利益最大化，およびチェーン全体利益最大化の 3 ケースについて最適なオプション量を決定するモデルを構築し，オプションモデルが有効な価格帯が存在することを明らかにした．

研究成果の概要（英文）：
This research deals with two problems: One is demand forecasting and the other one is optimal supply contract utilizing the demand forecasting. In the demand forecasting, we constructed three layers cubic neural network in which middle layer consists of two groups contains six customer (agent) types in each, when those information, such as product specification and its evaluation by merchandizers, price discount information, historical sales data of similar product were selected to be input of the network, and output of the network feedback to middle layer so that to dynamically update parameters of sigmoid function. Utilizing demand forecast information, we further constructed option models that optimize initial ordering quantity and option quantities for retailer's profit, for manufacturer's profit, and for integrated supply chain profits. Furthermore, we found that wining price zone of the option contract model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2009 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2011 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総　計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：複合新領域
科研費の分科・細目：（社会・安全システム科学）・（社会システム工学・安全システム）
キーワード：需要予測，DCNN，SCM，供給契約，SVM，ARIMA，DPM

１．研究開始当初の背景

消費財製品は革新的製品と機能的製品に分類することができる．革新的製品とは，製品技術や製造技術などにおいて優れた特性を持ち，市場に新規投入される製品である．市場特性は一般的にライフサイクルが短く，市場に認知された場合には爆発的に売れる可能性があるが，市場に認知されなかった場合には撤退を余儀なくされるような，販売の不確実性が高い製品である．一方，機能的製品は本来不確実性が低い市場特性を持つ製品であるが，近年，熾烈な製品開発競争により，多くの機能的製品が革新的製品の市場特性を持つようになっている．例えば，歯ブラシは一般的に機能的製品に分類されてきたが，消費者の好みに合わせて新しいデザインの商品が市場に投入され，極細歯ブラシや医用歯ブラシ，そして電動歯ブラシまでその品種は急激に増えており，革新的製品と同じ市場特性を持つようになっている．このように，現代製造業は，多くの場合革新的製品のサプライチェーンマネジメント（SCM）戦略およびオペレーションを取ることが望ましく，また，革新的製品の SCM 戦略とオペレーションを制した企業が市場に生き残れる状況が生まれている．

革新的製品の SCM に関する研究は，Marshall Fisher 教授が 1997 年に発表した論文（“What is the Right Supply Chain for Your Product”, Harvard Business Review, March - April, pp.105-116）以降活発になっている．たとえば，統合意思決定，情報共有，供給契約などがその一部である．しかし，Fisher 教授が革新的製品を予測が難しい製品と定義したこともあって，革新的製品の需要予測に関する研究や，需要予測情報と SCM 戦略を組み合わせた研究はあまり進んでいない．

２．研究の目的

以上の背景と問題点を踏まえて，本研究では需要予測とサプライチェーン最適化の意思決定をサポートするシステムを構築することを目的とした．

需要予測においては，サポートベクタ回帰を用いた需要予測モデルの構築，ARIMA モデルを用いた需要予測モデルの構築，ニューラルネットワークを用いた需要予測モデルの構築，そして実験経済学，情報科学，および経営工学手法を統合した DCNN (Dynamic Cubic Neural Network) モデルの構築を行った．

サプライチェーン最適化においては，需要予測情報を活用し，革新的製品に対して 1 回目の需要予測の情報を生産計画作成に用いることにし，2 回目の需要予測情報を販売計画に用いることにした．特に，製造と販売が独立している場合，協調戦略をとりながらそれぞれの利益を最大にするオプション契約モデルを構築し，数値実験を通じて有効性を示した．また，販売開始後中央倉庫と地方倉庫間では 1 回目の直送と 2 回目の中央倉庫に留保した在庫の配分を必要な時に必要な量だけ行うためのモデル構築を行い，従って製造と販売全期間中需要予測情報は 3 回使用される．

３．研究の方法

本研究では経営工学の最適化方法に加えて，実験経済学の理論と情報科学の手法を取り入れることにした．実験経済学の方法については均衡とエージェントによる購買行動のシミュレーションを，また，情報科

学の方法については，強化学習やシステム構築のためのプログラミングを取り入れ，最適化モデルやシミュレーションの結果を情報システムとして実装を行った．

具体的には，需要予測手法の開発においては，DCNN モデルを構築し，エージェント・シミュレーションの概念を取り入れたモデル構築を行った．

その他，オプションを用いたサプライチェーン意思決定の最適化モデル，サポートベクタ回帰，ARIMA モデル，BG/NBD モデルの BI 開発，リスクプーリングモデル，リユースを考慮した解体スケジューリングモデルなどその他の部分については，従来の経営工学の最適化方法を用いた．

４．研究成果

本研究では，需要予測手法として，サポートベクタ回帰モデル，および ARIMA モデルを用いた需要予測モデルの構築と実証実験，そして DCNN（Dynamic Cubic Neural Network）モデルを構築し，数値実験を行った．サポートベクタ回帰手法では，RBF と多項式カーネルを用意し，線形結合などを用いて複数のモデルを構築し，加法モデルおよび乗法モデルを用いて実験用時系列データを作成し，そこから 1 から 10 までの異なるセットのタイムラグ時系列データ（異なる次元と呼ぶ）を生成して実験を行い，モデルの有効性を確認した．また，これらのモデルの中でより精度の高いカーネルと異なる次元を選択し，ある販社の販売データを用いて実証実験も行った．その結果，従来の単純な回帰モデルや時系列分析モデルより高い精度の予測値を得ることができ，サポートベクタ回帰モデルの有効性を確認し，販売計画に十分実用できるとの結論を得た．

ARIMA モデルについては ACF などの指標によりモデルを同定したうえで，販社のデータを用いてパラメータの推定を行い，さらに外延販売データに対して精度確認の実証実験を行った．その結果，周期的に変動する需要に対しては，元のデータを周期分に分けたマトリックスを生成し，各列（たとえば，月曜日の列）をまとめて新しく生成した時系列データに対して ARIIMA モデルを適用したほうが予測精度を顕著に高めることができることを確認した．

DCNN モデルでは，製品特性，価格および消費者特性を取り入れ，中間層にはエージェント・シミュレーションを想定した顧客群を配置した．顧客群は革新者層と模倣者層に分け，各層にさらに購買嗜好が異なる顧客群が配置した．また，販売データの自己相関も考慮して，出力を NN にフィードバックし，複数のスペックが異なる製品の販売データを用いて強化学習を行った．これにより，顧客群の特性が中間層のパラメータに学習されているために，入力層に時間とともに変化する価格情報，製品スペックに対するマーチャンダイザーの評価（デルファイ法採用），および類似スペック商品の過去の販売実績を配置すると，スペックが新しい新製品情報を入力しても，より精度の高く，時間とともに変化する需要予測情報を得ることができた．

本研究では，上記需要予測値を SCM の最適化に活用することを目的としていたので，製販サプライチェーン協調（SCC，Supply Chain Contract）モデルを構築し，生産計画，販売計画，販売過程における物流の最適化，そして製造計画に合わせた解体スケジューリングモデルを構築し，数値実験を通じてモデルの有効性を検証した．

オプションを用いた SCC モデルにおい

ては，生産開始時点での需要予測情報を用いて販社の初期発注量とオプション購入量を決定し，それに基づいて製造を行うことにした．そして，生産が終了して販売シーズンに突入する際にもう一度需要予測情報を用いて販社のオプション行使量を決め，追加購入量を決定した．このような枠組みの中で，販社の利益を最大にする意思決定モデル，メーカーの利益を最大にする意思決定モデル，および両者を統合した意思決定のモデルをそれぞれ構築し，各種意思決定モデルにおける最適な初期発注量，オプション購入量，オプション行使量を決定する方法を解析的に導出し，数値実験を用いて既存研究との比較を行うことで提案モデルの有効性を検証すると同時に，価格（パラメータ）を変化させることでオプションモデルが常に優位であるとは限らないことを示し，オプションモデルが本質的に物流意思決定における一種の保険であることを示した．

また，販社が初期購入量とオプション行使量を決めた後，製品を小売店に配置する際に，直送とリスクプーリングを組み合わせることが有効であることを，留保量（たとえば安全在庫）の集中と遅延配送化モデルを通じて示した．

このモデルについては研究代表者らの既存研究，すなわちシミュレーションを用いた最適留保量の決定モデルを拡張し，順序統計量の理論を用いて解析的に，しかも簡単な計算で最適留保量を求めることに成功，その最適留保量の配分時期もシミュレーションではなく解析的に求めることに成功した．これはリスクプーリングと呼ばれる在庫管理研究分野における１つの学術的な貢献であり，実用化の意味でもその価値は大きい．

そして，環境問題がクローズアップされている現在，品物を販売して終わりとする時代は終わり，家電リサイクル法に代表されるように販社やメーカーはその回収にも責任を負うことになっている．そこで，本研究では解体スケジューリングに関する研究も行った．具体的には，製造における部品需要に合わせて DPM（Disassemble Plan Matrix)を用いた解体計画作成と，解体された部品の保管費用をも考慮した統合モデルを構築し，GA (Genetic Algorithm) を用いて総コストが最小になる最適な解体スケジューリングを作成した．遺伝子の構成において性質の異なる２つの遺伝子を組み合わせることが難題であったので，市販の GA ソフトを用いることができず，最適解を求めるプログラムを自前で作成し，大量の実験を通じて生産計画を満たしながら解体コストおよび在庫保管コストの合計総コストを最小にする最適解体計画を作成することに成功した．

５．主な発表論文等

（研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 9 件）

(1) Shyuhei Inada, Chu Bong-sung, Masahiko Tanaka and Hiroaki Matsukawa, Strategic IT Equipment Replacement Considering EOS and Risk of Failure, Information, 査読有, 15, 2, 507-516, 2012

(2) Bongsung CHU and De-bi CAO, Dynamic Cubic Neural Network with Demand Momentum for New Product Sales Forecasting, Information, 査読有, 14, 4, 1171-1182, 2011

(3) Sara Moriizumi, Bongsung Chu, Haiyan Cao and Hiroaki Matsukawa, Supply chain risk driver extraction using text mining technique, Information, 査読有, 14, 6, 1935-1945, 2011

(4) Bongsung CHU, Kakihiro NAKATUKA and De-bi CAO, An Analysis on Price Convergence of a Prediction Market, Information, 査読有, 14, 1, 103-114, 2011

(5) 市来嵜治, 山崎友彰, 志田敬介, 金沢孝 ;タッチパネル作業を用いた位置と順序の習得に対する視覚フィードバックの影響に関する研究 ;ヒューマンファクターズ, 査読有, Vol.15, No.2, P.92～102, 2011

(6) De-bi Cao, Yong Yin and Ikou Kaku, A criterion of production model selection for building material with delivery delay , International Journal of Production Research, 査読有, 48, 12, 3429-3443, 2010

(7) 中塚昭宏, 稲田周平,曹徳弼, RFID 投資効果と普及における問題について, 生産管理, 査読有, 16, 2, 15-23, 2010

(8) Hideo Miki, De-bi Cao, Yasushi Masuda, Stochastic Comparisons in Revenue Management under a Discrete Choice Model of Consumer Behavior, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有, 53, 3, 207-219, 2010

(9) 市来嵜治, 峰久泰義, 山崎友彰, 金沢孝, 需要変化点の自動抽出方法に関する研究, 経営情報学会誌, 査読有, Vol.19, No.1, pp.19-31, 2010

〔学会発表〕(計 19 件)

(1) De-bi Cao, Bongsung Chu and Shyuhei Inada, An Analysis on Make-or-Buy Decision Making in Serial Production System, 17th International Conference on Production Research pro-Prints , Feb. 23, 2012, Innsbruck, Austria.

(2) De-bi Cao and Bong-sung Chu, Dynamic Cubic Neural Network for Demand Forecasting, 21st International Conference on Production Research, August 2nd, 2011, Stuttgart, Germany.

(3) Koichiro Ishikawa, Bonsung Chu, Akito Sakurai, and Hiroaki Matsukawa, An Analysis of MML Agent Simulation under Uniform Distribution of Gain Parameter, Proceedings of 2011 Asian Conference of Management Science & Applications, December 21st, 2011, Sanya, China.

(4) 松川弘明, 加藤愛巳, VOC とロバスト性を考慮した多目的同時最適化モデルの提案, 日本経営工学会平成 23 年度秋季研究大会, 2011 年 11 月 12 日, 盛岡, 日本.

(5) 曹徳弼, 清水恭平, 需要予測モデルの実用化における問題点, 日本経営工学会平成 23 年度春季研究大会, 2011 年 5 月 28 日, 名古屋, 日本.

(6) 石井貴志, 曹徳弼, RFID による車両を介した自動勤怠管理システムの構築, 日本経営工学会平成 22 年度春季大会, 2010 年 5 月 15 日, 東京, 日本.

(7) 増田翔一, 曹徳弼, 分枝型物流システムにおける安全在庫の最適再配分方

法に関する研究，日本経営工学会平成22年度春季大会，2010年5月15日，東京，日本.

(8) 稲田周平，生産システム見える化展，可視化・整流化をベースにした改善フレームワークの実証研究，2010年11月17日，東京ビックサイト，日本.

(9) 稲田周平，理工学部ＦＤ講演会，FDへの取り組み事例紹介３　ー授業「経済性工学」の事例を中心にしてー，2010年11月9日，日本.

(10) 井出下久登，稲田周平，IEレビュー，病院におけるIE技術の活用，2010年5月1日，日本.

(11) Qunzhi Wang, Yuki Kumakiri, De-bi Cao, Risk Analisys of Supply Contract with Options, 2nd International Workshop on Institutional Supply Chain Management, August 8th, 2009, Xi'an, China.

(12) Jian Wang and De-bi Cao, The Strategic Planning Approaches in Supply Chain Management: an empirical study in China, 2nd International Workshop on Institutional Supply Chain Management, August 8th, 2009, Xi'an, China.

(13) 中塚昭宏，稲田周平，曹徳弼，RFID投資効果と普及における問題について，日本生産管理学会第29回全国大会，2009年3月14日，東京，日本.

(14) 中塚昭宏，稲田周平，石川浩一郎，曹徳弼，予測市場の収束可能性に関する考察，日本生産管理学会第29回全国大会，2009年3月14日，東京，日本.

(15) 曹徳弼，インスティチューショナルSCM，21世紀COEプログラムSIMOT第5回年次国際シンポジウム，2009年2月21日，東京，日本.

(16) 小林正徳，曹徳弼，多期間Pull生産方式の最適発注法，スケジューリング・シンポジウム2009年9月17，岡山，日本.

(17) 稲田周平，松山，日本生産管理学会第30回全国大会，作業者の手の動きに着目した作業分析用フレームワークの提案，2009年9月12日，愛媛，日本.

(18) 稲田 周平，日本経営工学会平成21年度秋季発表大会，複数の代替案がある状況化での製造投資案の安全性分析，2009年11月7日，名古屋，日本.

(19) 山本久志，稲田 周平，第3回横幹連合コンファレンス，経営工学人材の実践教育プログラム，2009年12月4日，仙台，日本.

６．研究組織

(1)研究代表者

松川　弘明（曹 徳弼）

(MATSUKAWA　HIROAKI)(SOU　TOKUHITSU)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：30242275

(2)研究分担者

金沢 孝（KANAZAWA　TAKASHI）

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：60129393

稲田 周平（INADA　SHUHEI）

慶應義塾大学・理工学部・専任講師

研究者番号：60327715

(3)連携研究者

該当なし